

Aus dem Institut für Anatomie der Freien Universität Berlin

(Leiter: Professor Dr. med. H.-J. Merker)

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN DES GLASKÖRPERS

DES FROSCHES

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Reinhard Kuboth

aus Preetz/Holst.

1970

Aus dem Institut für Anatomie der Freien Universität Berlin

(Leiter: Professor Dr. med. H.-J. Merker)

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN DES GLASKÖRPERS

DES FROSCHES

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Reinhard Kuboth

aus Preetz/Holst.

Referent: Prof. Dr. med. Willy Schwarz

Korreferent: Prof. Dr. med. dent. Hans Benz

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität
Berlin

Promoviert am: 21. 11. 1978



I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
Einleitung	4
Material und Methoden	11
Befunde	14
Diskussion	28
Zusammenfassung	34
Literaturverzeichnis	36

Einleitung

Der Glaskörper beim Frosch besteht aus einer durchsichtigen, wässrigen Kugel, die den Raum zwischen Linse und Retina ausfüllt. Nach DUKE-ELDER (1929) ist der Wassergehalt des Corpus vitreum beim Pferd 99,6813 g%, die Trockensubstanz ist sehr gering, sie beträgt 1,1087 g%. Der Glaskörper beim Pferd besteht im Gegensatz zum Glaskörper des Frosches aus einer relativ festen Galertkugel. Die Morphologie des Glaskörpers beim Pferd wurde in einer Dissertation von Annemarie JOHN (1977) untersucht. Das Corpus vitreum des Pferdes besteht aus einem relativ festen Gel, das bei der Herausnahme fast fest ist und nicht auseinander fließt.

Bei dem erwähnten hohen Wassergehalt kommt es bei den meisten Fixierungen herkömmlicher Art zu schweren Schrumpfun- gen und Artefakten. Die im Glaskörper vorhandenen Strukturen werden dadurch so stark verändert, daß man kein richtiges Bild erhält.

Bei der Untersuchung von frischem Glas-

körpermaterial mit dem Immersions-Ultramikroskop stellen sich fädige Strukturen dar (BAURMANN, 1922), die aber nur ein indirektes Bild der vorhandenen Strukturen darstellen, da sie durch die Lichtbeugung an diesen zustandekommen. Man erkennt ein feines, aus verzweigten Fibrillen bestehendes Gitterwerk, das peripher zu einer membranartigen Rinde verdichtet ist (GRIGNOLO, 1953). Mit Hilfe des Phasenkontrastmikroskops konnte SCHWARZ, (1953) ebenfalls feinste fädige Strukturen im frischen Glaskörper erkennen.

Einen großen Schritt vorwärts brachte dann die Elektronenmikroskopie. Das Elektronenmikroskop hat nämlich ein mehr als 100-1000fach stärkeres Auflösungsvermögen als das Lichtmikroskop. In der Bindegewebsforschung wurden zur genauen Analyse der Fibrillen durch Homogenisieren und Zerschallen von Gefrierschnitten die Kollagenfasern in ihre Kollagenfibrillen "zerzupft". Durch anschließendes Waschen konnten diese Fibrillen rein dargestellt (WOLPERS, 1943) und im Elektronenmikroskop betrachtet werden.

Diese Methode wurde von SCHWARZ (1950) übernommen (SCHWARZ u. RUSKA, 1950; RUSKA, 1950; SCHUCHARD u. KNOCH, 1950; SCHWARZ 1951; GRIGNOLO, 1953). Im Elektronenmikroskop sind dann die Glaskörperfibrillen als lange unverzweigte Fäden sichtbar, mit einem Durchmesser von 100-120 Å und einer Periodizität von 120 Å (SCHWARZ, 1961). Kleinwinkelröntgen-Unterferenzuntersuchungen haben bei den meisten Bindegewebsfibrillen eine Periode von 640 Å ergeben. Bei der Kleinwinkelröntgeninterferenz treten aber auch noch andere Interferenzlinien auf, so bei 123,3, die ungefähr der elektronenmikroskopischen Messung von 120 Å entsprechen. Die kollagene Natur dieser Fibrillen wird durch die chemische Analyse mittels Papierchromatographie bestätigt (PIRIE, SCHMIDT u. WATERS, 1948; NECKEL, 1953; GROSS, MATOLSTY u. COHEN, 1955).

Nach Entzug des ca. 99%igen Wassergehaltes konnte SCHWARZ (1961) in ca. 3µ dicken Schnitten, die nach Gefriertrocknung gut durchstrahlbar waren, dann neben den Fibrillen noch eine amorphe Masse darstellen, die wahrscheinlich im wesentlichen aus

Hyaluronsäure bestand. Später konnte der Glaskörper nach Fixation und Schneiden mit dem Ultratom systematisch in Dünnschnitte zerlegt werden, die nur 30 nm dick waren und so im Elektronenmikroskop durchstrahlbar waren (GÄRTNER, 1962, 1965, 1967). Die Topographie der Gelkörperfibrillen hat SCHWARZ beim menschlichen Glaskörper erfolgreich zeigen können. Bei formalinfixiertem Material betrug die durchschnittliche Fibrillendicke 66 Å, bei Gefrierschnitten etwa 100 Å. Die durchschnittliche Periodizität dieser Fibrillen betrug 120 Å (SCHWARZ, 1961). BLACKSTAD und MEGGE (1961) bestätigten diese Ergebnisse mit der negativ-staining-methode.

Die zweite Hauptkomponente im Corpus vitreum ist die Hyaluronsäure, die MEYER und PALMER 1934 aus dem Glaskörper des Rindes isolierten. Sie ist ein Mucopolysaccharid und zeichnet sich durch ein hohes Wasserbindungsvermögen aus. Von ihrer Polymerisationsstufe hängt die Transparenz und die Viskosität des Glaskörpers ab. (MEYER, SMITH und GALLARDO, 1936). Ein Hyaluronsäuremolekül besteht aus einer linearen, unverzweigten, flexiblen Poly-

saccharidkette, die in Lösung das Bild eines ungeordneten Knäuels annimmt (LAURENZ und GERGELY, 1955). Durch bakterielle und enzymatische Spaltung wurden 1954 die kleinsten Bausteine, die Disaccharide, isoliert (WEISSMANN, MEYER, SAMPSON und LINKER, 1954). Das Hyaluronsäuremolekül besteht aus alternierenden Einheiten von D-Glucuron-Säure und N-Acetylglucosamin in glykosidischer Bindung. Wegen der unterschiedlichen Polymerisationsstufen der Hyaluronsäure ist es schwierig, Größe, Aussehen und Molekulargewicht der Hyaluronsäure im Glaskörper zu bestimmen. Je nach Herkunft des Untersuchungsmaterials, Dispersion und Versuchungsanordnung kamen verschiedene Autoren zu unterschiedlichen Ergebnissen. (LAURENT, 1957; BALAZS und JEANLOZ, 1965; BALAZS, 1958; BLUMBERG und OGSTON, 1958; ROGERS, 1960). LAURENT schätzt den Anteil von Hyaluronsäure im Glaskörper des Rindes auf 0,05 % mit einem Molekulargewicht von $7,7 \times 10^4$ bis $1,7 \times 10^6$ (1955-1970). Histologisch und elektronenmikroskopisch bereitete das Erfassen von Hyaluronsäure große Schwierigkeiten. Aber bei der Untersuchung eines gefriergetrockneten Glas-

körperschnittes mit dem Elektronenmikroskop erkannte SCHWARZ (1956, 1961; HANSEN, 1969) zwischen dem Fibrillengerüst eine feine granuläre Substanz. Diese granulären Elemente zeigen eine auffallende Ähnlichkeit mit den granulären Elementen in einem gefriergetrockneten Schnitt durch hochvisköse Hyaluronsäure. SCHWARZ vermutete, daß es sich bei diesen Gebilden um Hyaluronsäure handelt. Der Beweis ist ihm 1976 gelungen. Mit Hilfe der Anfärbung mit Rutheniumrot nach LUFT (1971) konnte er die Hyaluronsäure und die Fibrillen in der Pars centralis des Corpus vitreum des Rindes gleichzeitig darstellen. Es stellte sich hierbei heraus, daß sich die Hyaluronsäure zwischen den Fibrillen in einem niedrigen Polymerisationsgrad befindet. Die einzelnen Makromoleküle haben einen Durchmesser von 80 Å. Gleichzeitig sind hochpolymerisierte Hyaluronsäuremoleküle zu erkennen, die die Fibrillen in Form von Girlanden umgeben.

In der vorliegenden Arbeit soll der Glaskörper des Frosches mit Hilfe der Anfärbung mit Rutheniumrot und Osmiumsäure elektronenmikroskopisch untersucht werden. Es sollen dabei die Zellen an der Oberfläche des Glaskörpers, die für die Produktion von Kollagen und Hyaluronsäure verantwortlich sind, die Rindenschicht und die Pars centralis des Glaskörpers untersucht werden. Dabei soll der Glaskörper des Frosches als wässriger Glaskörper mit dem Corpus vitreum des Pferdes (Beispiel eines festen Glaskörpers) verglichen werden.

Material und Methoden

Die Augen mehrerer Frösche (*Rana esculenta*) werden herauspräpariert. Dabei ist die Größe der Froschaugen in Relation zur Körpergröße bemerkenswert. Die Augenmuskeln wurden abgelöst. Sodann wird mit einem Starmesser durch einen Sigittal- und einen Bogenschnitt durch die Augenhäute eine Öffnung geschaffen, durch die der Glaskörper zusammen mit der Linse entfernt werden kann. Dabei muß sehr vorsichtig vorgegangen werden, da bei der geringsten Verletzung der Glaskörperrinde, die relativ derb ist, sich der Glaskörperinhalt entleert und nur die Rinde als schlaffe Hülle zurückbleibt. Ist es gelungen, den Glaskörper unversehrt zu entnehmen, wird er in folgender Weise für die Untersuchung aufbereitet:

Der Glaskörper wird in 1,4 %iger Glutaraldehydlösung mit Zusatz von 1,500 ppm Rutheniumrot fixiert, dann in 0,1M Cacodylatepufferlösung mit Zusatz von 800 ppm Rutheniumrot ausgewaschen. Danach wird noch einmal fixiert und zwar mit 2 %iger Osmiumsäure mit Zusatz von 400 ppm Rutheniumrot

bei 4°C. Danach wird noch einmal ausgewaschen und zwar mit physiologischer Kochsalzlösung.

In der kalten Fixierlösung werden die Glaskörper aufgeteilt, um passende Objektgrößen für das Dünnschnittmikrotom zu erhalten. Die Stücke werden in der Acetonreihe entwässert und durchlaufen, sodann eine aufsteigende Aceton-Mikopaloreihe. Danach werden die zu untersuchenden Teile in Mikropal eingebettet, einem Kunstharzgemisch der Firma FERAK, Berlin. Nach Einfüllen in eine Gelatine kapsel tritt unter Einwirkung eines Polymerisators die Härtung ein. Mit dem LKB Ultratom werden die so gewonnenen Blöcke geschnitten. Es handelt sich um Dünnschnitte von durchschnittlich 30 nm Dicke. Um eine gute Durchstufung der Objekte zu erreichen, werden sie teilweise im Serienschnittverfahren geschnitten.

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden am SIEMENS- Elmiskop I a gemacht, bei einer Strahlspannung von 80 KV. Die Primärvergrößerung lag bei 2.000 bis 30.000.

Zur Auswertung der Aufnahmen, besonders zur Übersichtsbetrachtung und zur genauen Messung der Feinheiten, wurden von den so erhaltenen Negativen Positivabzüge mit 3,5 facher Vergrößerung hergestellt.

Befunde

Die Glaskörperrinde besteht hier aus einer Membran, auf der außen noch Zellen und Zellfortsätze liegen. Unter der Membran liegt eine konzentrierte Ansammlung feinsten Strukturen (Abb.1). Die Membran hat eine Dicke von 140 nm. Sie ist stark mit Rutheniumrot angefärbt. Die Zellfortsätze auf der retinalen Seite liegen in Gruppen. Sie haben einen Durchmesser von 140 - 1500 nm. Einzelne Partien der Membran tragen keine Fortsätze. Etwas abgerückt von der Membran liegen vereinzelt Zellen, die der Art nach mesenchymaler Natur sind. Innerhalb der Membran kommen ebenfalls Zellen vor, die den Charakter von Fibroblasten haben. Diese Zellen werden hier auch als Hyalocyten bezeichnet (Abb.2). Die Membran selbst ist nicht homogen. Sie spaltet sich an manchen Stellen in zwei Blätter auf.

Unter der Membran liegt die eigentliche Glaskörperrinde, die 600 - 800 nm dick ist. Sie liegt der Außenmembran von innen her an. Mitunter findet man hier auch ein Gefäß, das zwischen Rinde und

Pars centralis vorkommt. Es kommt wahrscheinlich aus der Retina, da es von der äußeren Membran des Corpus vitreum umgeben ist (Abb.3). Im Elektronenmikroskop besteht diese Rinde aus Fibrillen, die statistisch angeordnet sind. Darunter versteht man die unregelmäßige und zufällige Anordnung in allen Richtungen des Raumes. Die Dicke der Fibrillen beträgt hier im nackten Zustand ca. 6 nm. Doch solche nackten Fibrillen sind sehr selten zu finden. Fast alle Fibrillen tragen nämlich einen dichten Besatz, der bei starker Vergrößerung granulär aussieht. Hierbei handelt es sich um Hyaluronsäure, die an die Fibrillen gekoppelt ist. Das einzelne Granulum hat eine Größe von 3 nm. Die Granula sind aber in dicht gedrängten Girlanden um die Fibrillen herumgewickelt. Der Raum zwischen den mit Hyaluronsäuregirlanden bedeckten Fibrillen, der für die Diffusion im Glaskörper eine Rolle spielt, beträgt in der Rinde 130 - 150 nm.

In der Pars centralis des Froschglaskörpers, die die Hauptmasse des Corpus vitreum ausmacht, liegen die Fibrillen ebenfalls statistisch verteilt. Jedoch

sind hier viel weniger vorhanden als in der Rinde (Abb.5). Die Dicke der nackten Fibrille liegt ebenfalls bei 6 nm. Auch hier sind die Fibrillen jedoch selten nackt, vielmehr haben sie einen Besatz von granulärem Material, der als Hyaluronsäure in hochpolymerem Zustand aufzufassen ist. Die Dicke der mit Hyaluronsäure besetzten Fibrille beträgt wie in der Rinde 13 - 15 nm (Abb.5).

Der Interfibillarraum ist in der Pars centralis wesentlich größer als in der Rinde, er beträgt 860 - 1000 nm. Das ist etwa das siebenfache des Interfibrillarraumes in der Glaskörperrinde (Abb. 5).

Zwischen den Fibrillen, sowohl in der Rinde als auch in der Pars centralis liegen kleine Granula, die meßbar sind (Abb. 4). Ihre Dicke beträgt 3 nm und sie liegen dicht bei dicht. Es handelt sich um Makromoleküle, die als Oligomer der Hyaluronsäure betrachtet werden können (Abb. 2).

Abb. 1:

Übersicht über die Rinde und Pars centralis
des Glaskörpers beim Frosch.

Die dunkle Linie ist die Basalmembran zwischen
Glaskörper und Retina, auf der Basalmembran
liegen Zellfortsätze der Hyalozyten.

Unter der Basalmembran liegt die feste gel-
artige Rinde. Der weitaus größte Raum wird
von der Pars centralis eingenommen. Die Fi-
brillen liegen statistisch verteilt.

Vergr.: 7000:1



Abb. 2:

Schnitt durch die Rinde des Glaskörpers
beim Frosch.

Auf der Basalmembran liegen die Zellfort-
sätze der Hyalozyten. Unter der Basalmem-
bran liegt die gelartige Rinde, die 600 -
800 nm dick ist.

Darunter die Fibrillen der Pars centralis.

Vergr.: 35 000 : 1

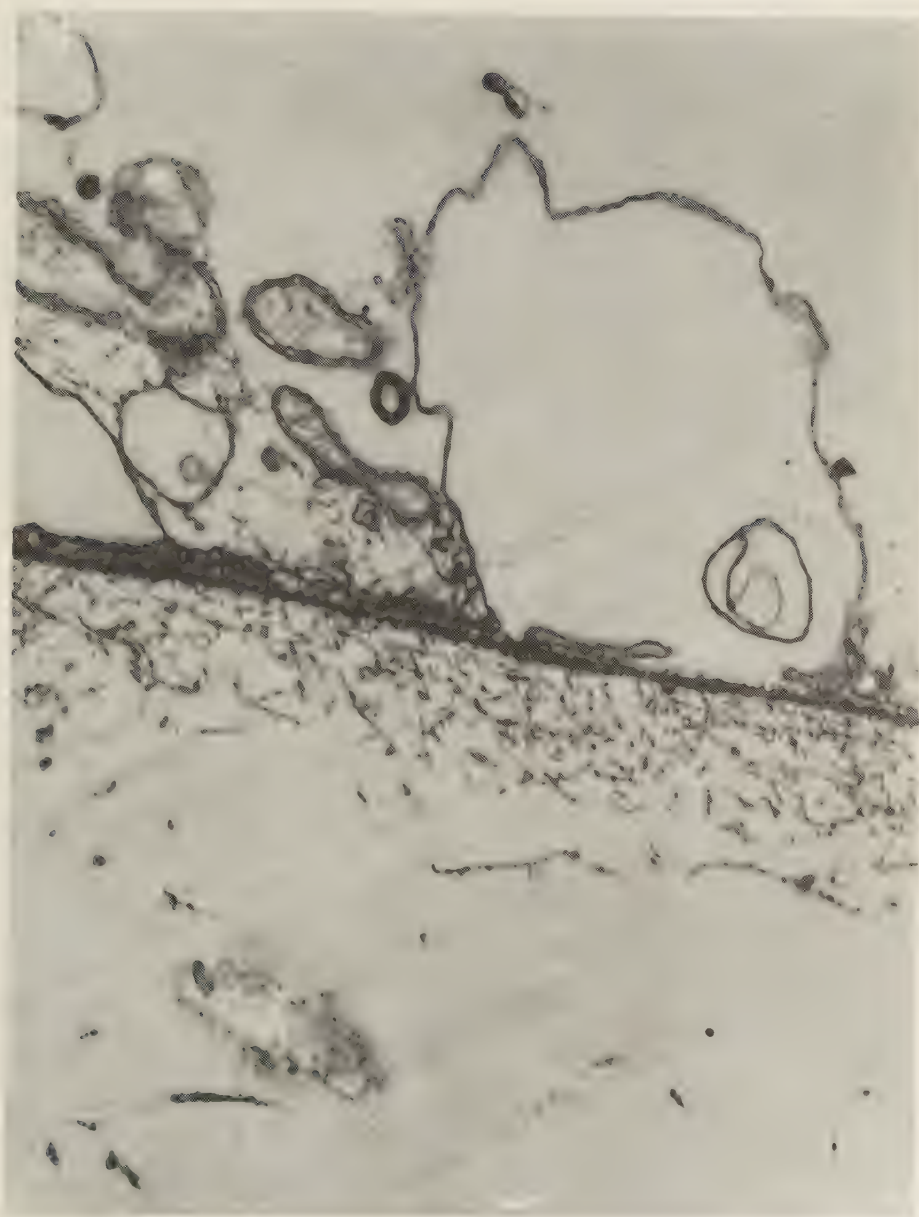


Abb. 3:

Schnitt durch Rinde und Pars centralis
des Glaskörpers vom Frosch.

Unter der Basalmembran liegt eine quer-
getroffene Kapillare, die von einer Basal-
membran umgrenzt wird. Der Herkunft nach
kann so eine Kapillare nur aus der Retina
stammen und mit der Basalmembran des Glas-
körpers als Häutchen in diesen hineinge-
schoben sein. Welche Bedeutung solche
Kapillaren für den Glaskörper haben ist
unklar.

Vergr.: 7 000 : 1



Abb. 4:

Starke Vergrößerung eines Ausschnittes der Pars centralis. Um die Fibrillen ist wenig hochpolymeres Material der Hyaluronsäure herumgewickelt, die interfibrillären Räume sind weit. Die Fibrillen sind statistisch verteilt.

Vergr.: 105 000 : 1

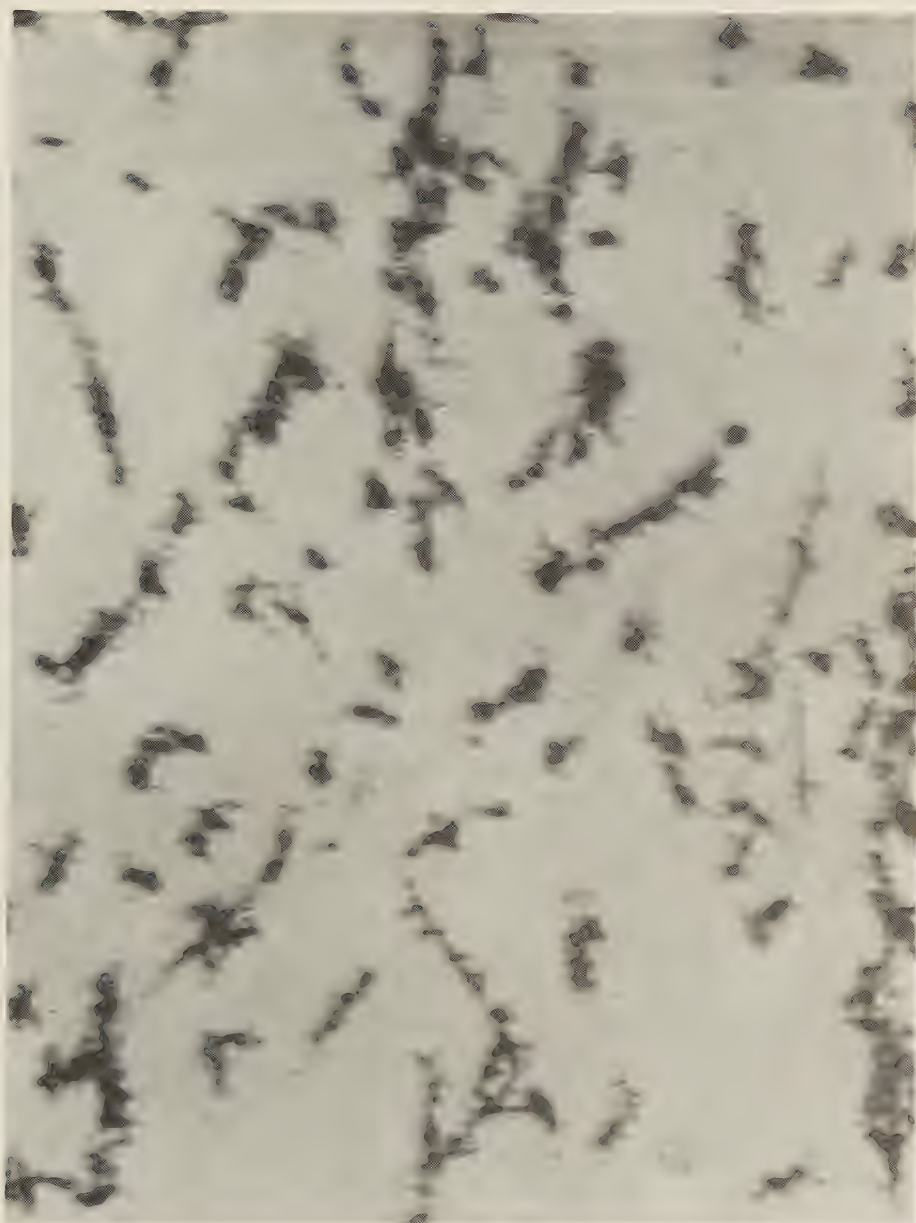


Abb. 5:

Rinde und Pars centralis vom Glaskörper
des Froschauges.

Außen liegt die Basalmembran, in der Rinde
sind die Fibrillen ebenso wie in der Pars
centralis statistisch verteilt. Bei höheren
Wirbeltieren sind die Fibrillen in der Rinde
längs angeordnet.

Vollkommen nackte Fibrillen haben einen
Durchmesser von 6 nm.

Vergr.: 35 000 : 1



DISKUSSION

Bei der Beurteilung der Befunde kommt es darauf an, die Abhängigkeit der Konsistenz des Glaskörpers beim Frosch in Abhängigkeit von der Menge und dem Polymerisationsgrad der vorhandenen Hyaluronsäure aufzuzeigen. Dazu werden vergleichend die Befunde an den Glaskörpern bei Pferd und Rind herangezogen.

Bei der Herausnahme des Glaskörpers kann nach einiger Übung der gesamte Glaskörper erhalten bleiben. Er hat beim Betasten eine prallelastische Konsistenz. Es stellt sich heraus, daß der Glaskörper von einer dichteren Hülle umgeben wird, denn bei einer Verletzung des äußeren Häutchens fließt der gesamte wässrige Inhalt heraus und nur das äußere Häutchen bleibt erhalten. Damit handelt es sich beim Frosch also um einen in der Hauptsache flüssigen Glaskörper. Verglichen mit den Glaskörpern höherer Wirbeltiere, zum Beispiel von Pferd und Rind, die einen relativ festen Gelzustand haben,

ist beim Frosch der Glaskörper praktisch flüssig. Allerdings hat BALAZS (1968) einen ähnlich flüssigen Glaskörper beim Eulenaffen (*Aotus trivirgatus*) beschrieben. Damit kommt ein flüssiger Glaskörper auch vereinzelt bei höheren Wirbeltieren vor.

SCHWARZ (1976) und JOHN (1977) finden den Interfibrillarraum in der Pars centralis beim Rind bzw. beim Pferd mit Weiten von 400 - 900 nm. In diesem Raum liegen rutheniumrotgefärbte Granula dicht nebeneinander. Diese Granula haben einen Durchmesser von 8 nm beim Rind und 7 nm beim Pferd. Sie sind teilweise in Fünferketten angeordnet. Diese Granula sind Makromoleküle der Hyaluronsäure mit einem großen Wasserbindungsvermögen, die wahrscheinlich durch Polymerasen aus dem Monomer gebildet werden (ÖSTERLIN und JACOBSON, 1968). Diese Polymerasen werden wie das Monomer von den Hyalocyten gebildet (BALAZS, 1962, 1968). SCHWARZ (1956) hat diese Polymerisationsstufe als Oligomer bezeichnet. Die nächste Polymerisationsstufe ist wahrscheinlich

die Anordnung von Oligomer zu Fünferketten (JOHN, 1977). Die weitere Polymerisation geschieht unter dem Einfluß der kollagenen Fibrillen. Die höchste polymere Stufe ist girlandenartig eng um die Fibrillen gewickelt. Diese Polymerisationsstufe wird von SCHWARZ als Hochpolymer bezeichnet. Die hochpolymere Form der Hyaluronsäure ist bei Rind und Pferd reichlich vorhanden. Durch das hohe Wasserbindungsvermögen der Hyaluronsäure reicht hier die Menge der Hyaluronsäure aus, daß ein relativ fester Gelzustand erreicht wird. Festigkeit wird erreicht durch das Zusammenfließen dieser hochpolymerisierten Hyaluronsäuremoleküle mit der Hyaluronsäure anderer Fibrillen (SCHWARZ, 1976). Auch in den Interfibrillarräumen der Pars centralis beim Frosch, die jedoch weiter sind als bei Rind und Pferd, finden sich rutheniumrotgefärbte Granula, die das Oligomer der Hyaluronsäure darstellen. Diese Granula sind beim Frosch mit 3 nm Durchmesser jedoch nur knapp halb so groß wie bei Pferd

und Rind, d.h. der Polymerisationsgrad ist nicht so hoch wie bei diesen. Die nächste Polymerisationsstufe, die Anordnung der Granula zu Fünferketten, kann in dem vorliegenden Material nicht beobachtet werden.

Die hochpolymere Form der Hyaluronsäure, die girlandenförmig um die kollagenen Fibrillen herumgewickelt ist, ist auch beim Frosch vorhanden. Jedoch hat die mit Granula besetzte Fibrille nur einen Durchmesser von 13 - 15 nm, also nur etwa ein Viertel der vergleichbaren Fibrille beim Pferd (JOHN, 1977).

Das Zusammenfließen von hochpolymeren Hyaluronsäuremolekülen mit der Hyaluronsäure anderer Fibrillen ist also nahezu unmöglich; zudem sind die Interfibrillarräume relativ weit. Unter diesen Umständen reicht auch das außerordentlich große Wasserbindungsvermögen der Hyaluronsäure nicht aus, um die Pars centralis des Glaskörpers beim Frosch in einen gelartigen Zustand zu versetzen. Anhand der Befunde und des Vergleiches mit den Verhältnissen bei Rind und Pferd ist die wässrig-flüssige Beschaffenheit

der Pars centralis des Corpus vitreum beim Frosch erklärt.

Anders liegen die Verhältnisse in der Rinde, die sich bei der Herausnahme als Häutchen dokumentiert. Hier haben wir eine beträchtliche Vermehrung der kollagenen Fibrillen und um sie herumgewickelt größere Bestandteile der Hyaluronsäure. Zwar ist der Durchmesser der mit Granula bedeckten Fibrillen nicht größer als in der Parscentralis, jedoch haben die Interfibrillarräume nur etwa ein Siebtel des Durchmessers. So können die hochpolymeren Hyaluronsäureketten zusammenfließen, und geben so der Rinde einen relativ festen, gelartigen Zustand.

Die Durchsichtigkeit des Glaskörpers wird, wie bei allen Tieren, durch die große Menge Wasser garantiert. Bei einem flüssigen Glaskörper, wie dem vorliegenden, wird das Wasser in der Hauptsache durch die Basalmembran und die Rinde gehalten, da diese durch die Menge an hochpolymerer Hyaluronsäure und kollagenen Fibrillen relativ formkonstant sind.

Die kollagenen Fibrillen können beim Durchtritt des Lichtes nicht stören, weil sie wesentlich dünner sind als die halbe Wellenlänge des sichtbaren Lichtes, und somit keine Beugung an ihnen auftreten kann.

Zusammenfassung

Der Glaskörper des Frosches ist prallelastisch. Bei der Herausnahme kommt es leicht zu einer Verletzung der Rinde und zum völligen Herausfließen des gesamten Glaskörperinhalts.

Elektronenmikroskopisch kann man an gefärbten Dünnschnitten eine Basalmembran, eine Rinde und eine Pars centralis unterscheiden. Als äußerste Schicht ist eine stark mit Rutheniumrot angefärbte Basalmembran vorhanden. Auf ihr liegen außen noch Zellen und Zellfortsätze, die den Glaskörper produziert haben und ihn erhalten. Bei diesen Zellen, die den Charakter von Fibroblasten haben, handelt es sich um Hyalozyten.

Die Rinde besteht hier aus statistisch angeordneten kollagenen Fibrillen, die von hochpolymerer Hyaluronsäure girlandenförmig umgeben sind. Die Pars centralis besteht ebenso wie die Rinde aus kollagenen Fibrillen, die von hochpolymerer Hyaluronsäure umwickelt sind.

Diese Fibrillen sind ebenfalls statistisch verteilt, sie liegen jedoch wesentlich weiter auseinander. Der Raum zwischen den Fibrillen wird als interfibrillärer Raum bezeichnet. Hier liegen massenhaft Hyaluronsäuremoleküle in einem oligomeren Zustand. Die Weite des Interfibrillär-raumes und die im Gegensatz zu höheren Wirbeltieren geringe Polymerisationsstufe der Hyaluronsäure bedingt den flüssigen Zustand des Glaskörpers beim Frosch, der bei der geringsten Verletzung der Rinde offenbar wird, dann fließt nämlich der gesamte wässrige Inhalt aus und zurück bleibt nur die Rinde mit der Basalmembran als schlaffe Hülle. Beim Glaskörper vom Pferd, als Beispiel eines Glaskörpers eines höheren Wirbeltieres, dagegen handelt es sich um ein relativ festes Gel (JOHN, 1977), das auch bei Verletzung formkonstant bleibt. Der Grund hierfür liegt in der Menge und dem Polymerisationsgrad der im Glaskörper vorhandenen Hyaluronsäure.

LITERATURVERZEICHNIS

- Baurmann, M.: Untersuchungen über die
Struktur des Glaskörpers bei
Säugetieren. Graefes Arch.
111 (1923)
- Balazs, E. A.: Molecular morphology
of the vitreous body.
In: The structure of the eye
G.K. Smelser, ed. S. 293-310,
New Vork: Academic Press 1961
- Balazs, E.A.: Die Mikrostruktur und
Chemie des Glaskörpers. In:
Deutsche Ophthal. Gesellsch.
Bericht über die 68. Zusammen-
kunft (1969)
- Balazs, E.A. und Jeanloz, R.W.: In:
The Amino Sugars. Vol. 2A.
S. 401-460. Academic Press,
New York and London (1965)
- Blackstad, F.W., Wegge, F.: On the
ultrastructure of vitreous body
filaments. Acta ophthal. (Kbh.)
39, 37-53 (1961)
- Blumberg, B.S. und Ogston, A.G.: In:
Chemistry and Biology of
Mucopolysaccharids. (G.E.W.
Wolstenholme and M. O'Conner,
eds.) S. 22-41. Churchill, London

- Casperson, T. u. A. Engström: Transparenz
des Hornhautgewebes. Nord.Med. 30,
1279-1282 (1946)
- Duke-Elder, W.S.: The structure and
properties of the vitreous body.
Tran. Ophthalm. Soc.U.Kingd. 49
(1929)
- Gärtner, J.: Elektronenmikroskopische
Untersuchungen über die Fein-
struktur der normalen bis patho-
logisch veränderten vitreoretinalen
Grenzschicht. Albrecht v. Graefes
Arch. Ophthal. 165, 71-102 (1962)
- Gärtner, J.: Die Feinstruktur der Glaskör-
perrinde des menschlichen Auges
an der Ora serrata im Alter.
Albrechts v. Graefes Arch.klin.
exp.Ophthal. 168, 529-562 (1965)
- Gärtner, J.: Beziehung zwischen Fundus-
diagnostik und Elektronenmikrosko-
pie, dargestellt am Beispiel der
Glaskörperrinde in der Ora-serrata-
Gegend. Mod.Probl.Ophthal., Vol.
5, 154 - 169. Basel-New York:
Karger 1967
- Grignolo, A.: Les connaissances sur la
structure du corps vitre. Progr.
d'ophthal. 2, 1-35 (1953)

Gross, J., Matolsty, A.G., Cohen, C.:

Vitrosin: A member of the collagen
class. J. biophys.biochem.Cytol.

1, 215-220 (1955)

Hanson, H.A.: Scanning electron microscopy
of the vitreous body in the rat eye.

Z.Zellforsch. 101, 323-337 (1969)

John, A.: Elektronenmikroskopische Unter-
suchungen am Glaskörper des Pferdes
(1977)

Laurent, T.C.: Studies on hyaluronic acid
in the vitreous body. J. biol.Chem.

215, 263-271 (1955)

Laurent, T.C.: In: Chemistry and molecular
biology of the intercellular matrix
(e.A. Balazs, ed.) Vol. 2, 703-731.
London and New York: Academic Press
1970

Laurent, T.C. and Gergely, J.: J. biol.

Chem. 212, 325 (1955)

Luft, J.H.: Ruthenium-red and violet . I.

Chemistry purification, methods of
use for electron microscopy and mechanism
of action. Anat.Rec.171, 347-368

(1971)

Luft, J.H.: Ruthenium-red and violet. II.

Fine structural localisation in animal
tissues. Anat.Rec. 171, 369-391 (1971)

- Maurice, D.M.: The structure and transparency of the cornea. J. Physiol. (London) 136, 263-286 (1957)
- Meyer, K., Palmer, J.W.: The polysaccharide of vitreous humor. J. biol.Chem. 107, 629-638 (1934)
- Meyer, K., Smith, E.M., Gallardo, E.: On glycoproteins, polysaccharids of the vitreous humor and umbilical cord. J. biol.Chem. 114, 689-703 (1936)
- Neckel, J.: Chemische Untersuchungen über die elektronenmikroskopisch sichtbaren Glaskörperfibrillen. Z. Naturforsch. 8b, 236-243 (1953)
- Österlin, S.E., Jacobson, B.: The synthesis of hyaluronic acid in vitreous. I. Soluble and particulate transferases in hyalocytes. Exp. Eye Res. 7, 497-510 (1968)
- Pirie, A., Schmidt, G., Waters, W.: Ox vitreous humor. I. The residual protein. Brith. J. Ophthal. 32, 321-339 (1948)

- Rogers, H.J.: In: The biochemistry of
Mucopolysaccharides of Connective
Tissue, Biochem.Soc.Symp.No. 20
(F. Clark and J.K. Grant, eds.),
51-78. Cambridge University Press,
London
- Schuchardt, E., Knoch, M.: Elektronen-
mikroskopische Befunde am Glaskör-
per des Auges. Naturwissenschaften
37, 426 (1950)
- Schwarz, W.: Elektronenmikroskopische
Untersuchungen über die Glaskörper-
strukturen im Rinderauge. Z.Zell-
forsch. 36, 45-61 (1951)
- Schwarz, W.: Die Gelbkörperfibrillen des
menschlichen Glaskörpers. Z.Zell-
forsch. 36, 284-292 (1951)
- Schwarz, W.: Electron microscopic observations
of the human vitreous body. In: The
structure of the eye (G.K. Smelser,
ed.) 283-291. New York: Academic
Press 1961
- Schwarz, W.: Electron Microscopic Study on
the Gel of the Central Part of the
Corpus Vitreum in the Ox. Cell Tiss.
Res. 168, 271-275 (1976)
- Schwarz, W., Ruska, H.: Über die Faser-
strukturen im Glaskörper und in der
Linse des Säugetierauges. Optik 7,
318 (1950)

Weissmann, B., Meyer, K.: J.Am.chem.Soc.

76, 1753 (1954)

Wiegner, G. und Pallmann, H.: Kolloid-
chemisches Taschenbuch (Hrsg. A.
Kühn), S. 101 - Leipzig: Akadem.
Verlagsgesellsch. (Geest u. Portig-
K.G., 1948)

Wolpers, C.: Kollagenquerstreifung und
Grundsubstanz. Klin. Wschr. 22,
624-625 (1943)

Herrn Professor Dr. med. Schwarz
möchte ich für die Überlassung des
Themas und besonders für die mannig-
faltige und freundliche Unterstützung
bei der Durchführung dieser Disser-
tation meinen Dank aussprechen.

LEBENS LAUF

Ich, Reinhard Kuboth, wurde am 2. August 1950 als erstes Kind des Verwaltungsangestellten Alfred Kuboth und seiner Ehefrau Hildegard geb. Pantel in Preetz/Holst. geboren. In Preetz besuchte ich die Grundschule. Nach dem Umzug meiner Eltern nach Mölln/Lbg. besuchte ich die Lauenburgische Gelehrtenschule in Ratzeburg bis zum Abitur am 29.5.1969. Meinen Grundwehrdienst leistete ich in Hamburg, Albersdorf und Idar-Oberstein ab und wurde am 31. März 1971 als Unteroffizier entlassen. Bis zu meiner Zulassung zum Studium arbeitete ich als Krankenpfleger im Städtischen Krankenhaus Mölln. Im Wintersemester 1971/72 begann ich das Studium der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der Freien Universität Berlin, das ich am 11. Februar 1977 erfolgreich abschließen konnte. Seit dem 15. März 1977 bin ich als Ausbildungsassistent bei Herrn Klaus-Peter Horn, Kottbusser Damm 70/71, Berlin 44, beschäftigt. Ich beabsichtige, mich in absehbarer Zeit im norddeutschen Raum als Zahnarzt niederzulassen.

